

Técnicas de control de cárcavas mediante el uso de vegetación forestal y diques de retención en explotaciones agrícolas. El caso de la finca “La Veguilla”

MORA JORDANO, J.¹, LORA GONZÁLEZ, A.², CASTILLO RODRÍGUEZ, C.³, MUÑOZ MACÍAS, F.⁴, ROJO ARANDA, M.⁴, GÓMEZ CALERO, J.³

¹Instituto Municipal de Gestión Medioambiental. Ayuntamiento de Córdoba.

²Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba.

³Instituto de Agricultura Sostenible-CSIC.

⁴Departamento de Medio Ambiente. Ayuntamiento de Córdoba

Resumen

La Campiña del municipio de Córdoba, de fuerte vocación agrícola dedicada al cultivo de cereal de secano y olivar, se ha visto afectada por intensos procesos erosivos. Por un lado, la erosión biológica se ha ido produciendo durante las últimas décadas de manera progresiva e implacable convirtiendo este territorio en un desierto agrícola. Por otro, los recientes episodios de torrencialidad en las lluvias de los años 2009-2010 y 2010-2011 han puesto de manifiesto la fragilidad del suelo, generando problemas de erosión hídrica que han ocasionado la aparición súbita de grandes cárcavas por todo el territorio.

“La Veguilla” es una finca de unas 340 ha de la Campiña; colabora desde hace décadas en proyectos de investigación y también ha sido afectada por los fenómenos erosivos, lo que ha permitido poner en marcha ensayos para definir protocolos de actuación de carácter mixto (con vegetación y obra de ingeniería) que frenen las pérdidas de suelo por la erosión en cárcavas que condicionan fuertemente las operaciones de explotación, a la vez que contribuyen a un notable incremento de la diversidad y del valor de este paisaje agrícola.

Palabras clave

Cárcava, dique de contención, revegetación, diversificación paisaje rural, campiña baja, Córdoba.

1. Introducción

La especial configuración territorial de las campiñas bajas de la Depresión del Guadalquivir, la fuerte estacionalidad e irregularidad de su régimen de precipitaciones y las prácticas agrícolas implantadas durante el último cuarto del pasado siglo han supuesto, entre otras consecuencias, una alta incidencia de los fenómenos erosivos sobre suelos que soportan una alta presión productiva. Bajo estas premisas, la Campiña del término de Córdoba, de algo más de 82.000 ha de extensión sobre un total municipal de 125.000 ha y dedicada tradicionalmente al cultivo de cereal de secano, resulta ser un modelo de referencia.

Las precipitaciones de los últimos años han puesto en evidencia la intensidad y la rapidez con que se produce la pérdida de suelo en este territorio, justificándose así la necesidad de determinar patrones de utilización de los recursos que mitiguen o frenen estos procesos erosivos que, más allá de afectar exclusivamente a la fracción abiótica del sistema, generan una pérdida de diversidad biológica de carácter difícilmente reversible, conduciendo ambas circunstancias a un deterioro del potencial económico de este espacio agrícola.

Para esta finalidad se han puesto en marcha algunos proyectos que han estado desarrollándose en paralelo. Destacan el Programa de Diversificación del Paisaje Rural de la

Campaña de Córdoba, promovido por el Ayuntamiento de Córdoba y los proyectos RESEL y AGL2009-1236-C03-01 del Instituto de Agricultura Sostenible (IAS) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

La finca La Veguilla es una explotación agrícola que colabora desde hace años con algunos de los programas e instituciones anteriormente citados. Como todo el territorio de su entorno, se ha visto afectada por los fuertes procesos erosivos determinados por las intensas lluvias acumuladas en 2009 (588,03 mm), 2010 (967,71 mm) y 2011 (433,56 mm), según los datos recogidos por la estación meteorológica Córdoba Aeropuerto, ubicada en 37° 50' 39'' de latitud norte, 4° 50' 46'' de longitud oeste y a 90 m de altitud, muy próxima a la finca (37° 49' 37'' norte, 4° 52' 31'' oeste y 105 m). Estas precipitaciones han llegado a generar pérdidas de suelo de hasta 52,6 t/ha (TAGUAS et al., 2010) merced a la dinámica de estas explotaciones.

La expresión más contundente de estas pérdidas son los profundos y abundantes regueros y cárcavas que jalonan todo el paisaje campañés condicionando fuertemente el dinamismo de las explotaciones: acentúan los daños directos por la pérdida de suelo fértil, dificultan o impiden el tránsito de maquinaria e incluso de personas y, finalmente, fragmentan la superficie productiva. Aguas abajo, la pérdida de suelo ocasiona daños indirectos por problemas de inundación y entarquinamiento de vegas y zonas regables, cortes de vías de comunicación, colmatación de embalses y aterramiento de canalizaciones y arroyos. Estas incisiones sobre el terreno no desaparecen con las labores habituales del cultivo y en bastantes ocasiones suelen formar una estructura continua que, si no se controla, tiende a ampliarse en anchura y profundidad.

2. Objetivos

El objetivo general de este ensayo ha sido el desarrollo y aplicación de diferentes tecnologías para combinar diversificación del paisaje agrario mediante la potenciación de los enclaves forestales y el control de erosión de una cárcava ubicada en un cauce efímero en olivar intensivo de regadío. Para ello, se han considerado los siguientes objetivos específicos:

1. Dimensionamiento del ensayo a través de la optimización del diseño de los diques de control de erosión mediante criterios de maximización de la disipación de energía y revegetación de zonas adyacentes (GÓMEZ et al., 2011; CASTILLO, 2012).
2. Implementación de un ensayo de demostración mediante la combinación de obras de ingeniería basadas en diques de retención y estructuras de disipación de energía y actuaciones con vegetación para el control de la erosión y la mejora ambiental global de la explotación.
3. Cuantificación de los requerimientos de tiempo y coste de las de las actuaciones.
4. Seguimiento in situ del ensayo, a través de la evaluación del comportamiento de la estructura y vegetación implantada frente a los procesos erosivos.

3. Metodología

La actuación sobre en La Veguilla se produjo sobre un tramo de reguero acarcavado de unos 120 m (Figura 1), combinando medidas de ingeniería y de revegetación.

100



Figura 1. Estado de la cárcava intervenida en invierno de 2011

Dado que el verano es la época del año en que la estabilidad del suelo permite intervenir sobre las cárcavas y regajos abiertos durante el invierno, la intervención correctora y preventiva mediante obra de ingeniería se llevó a cabo durante el mes de junio de 2011, mientras que la revegetación se hizo en el invierno inmediatamente posterior.

La cárcava comienza en un cauce efímero que drena unas 8 ha de olivar de riego en el que se han medido caudales máximos de hasta 250 l/s en el invierno de 2009-2010, en el aforador de erosión situado en la sección del canal (Figura 2).

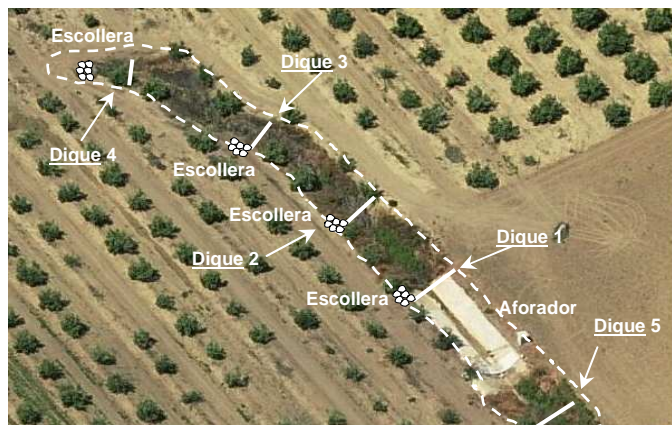


Figura 2. Cárcava intervenida. Vista aérea y propuesta de zonas de intervención

Las obras de ingeniería consistieron en la implantación de gaviones formando diques de retención a lo largo del tramo, acompañados de escolleras de roca para refuerzo de taludes en los deslizamientos de los bordes del reguero, siguiendo la siguiente metodología:

1. Se caracterizaron las dimensiones y morfología de la cárcava y taludes del reguero con las consideraciones constructivas recomendadas para estas estructuras de acuerdo con los criterios establecidos por GÓMEZ et al. (2011).

2. Mediante retroexcavadora giratoria de cadenas de 21 t y cazo de 1,20 m (Figura 3), se colocó escollera de roca machacada de 60-100 cm para la estabilización de los deslizamientos en las paredes de la cárcava.



Figura 3. Ejecución de escollera

3. El espaciamiento entre los diques de retención a lo largo de una cárcava debe intentar aproximarse a una situación en la que el nivel máximo del agua detrás de un dique llegue hasta el pie del dique de retención situado inmediatamente aguas arriba (Figura 4).

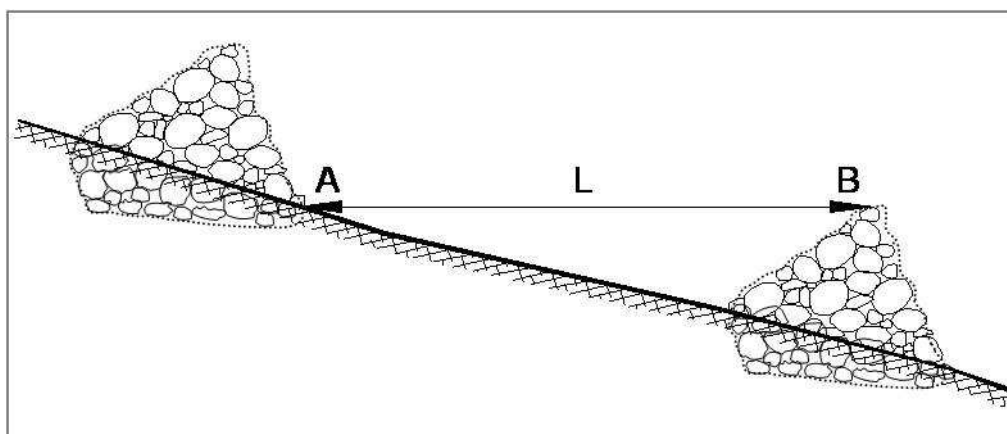


Figura 4. Espaciamiento óptimo entre diques de retención. La línea A-B marca el punto de máxima elevación de agua.
Elaboración propia a partir de GRAY & LEISER (1989)

Se logra así que no quede ninguna sección de la cárcava en la que el agua no esté retenida para reducir su velocidad; por cuestiones derivadas del coste de ejecución de los diques, este modelo a veces es difícil de llevar a campo de forma íntegra. Las distancias, no obstante, siempre son aproximadas en tanto que se pueden variar ligeramente buscando que el diseño de la intervención sea más eficiente y económico, por ejemplo moviéndolas para situar el dique en una sección más estrecha y donde, por tanto, sea más fácil y barato de construir. Igualmente, en pendientes muy elevadas es difícil ajustarse al espaciamiento óptimo dado que esto obligaría a colocar los diques demasiado cercanos unos de otros y dar lugar a presupuestos muy elevados.

Para el cálculo del número y altura de los diques empleados es necesario considerar las siguientes variables de la cárcava: longitud, anchura máxima, profundidad media y pendiente. A partir de los datos de campo (Tabla 1), se establecieron los valores necesarios para dimensionar la altura y espaciamiento de los diques a lo largo de la cárcava para la ejecución de la obra.

Tabla 1. Resumen de dimensiones medias de la cárcava

Anchura media (m)	Anchura máxima (m)	Longitud (m)	Pendiente media (%)	Profundidad media (m)	Profundidad máxima (m)
2,0	4,2	120	2,5	1,9	2,3

En el caso de la intervención de La Veguilla, los datos (2,5% de pendiente media y 0,8 m de altura de dique) determinaron la necesidad de instalar entre 2 diques (solución más económica) y 4 diques (solución óptima) para los 120 m. Teniendo en cuenta que era necesario asegurar la estabilidad de las paredes de la cárcava y evitar su posible crecimiento en cabecera, se optó por un diseño consistente en: un dique justo a la entrada del canal de hormigón, reteniendo el agua al pie de una pared de la cárcava que se había perfilado, otros dos aguas arriba espaciadas unos 30 m entre sí, también al pie de paredes de la cárcava que se habían perfilado y reforzado con escollera, y un cuarto 10 m por debajo de la cabecera de la misma (Figura 2). Finalmente, se instaló un quinto dique por debajo del aforador para evitar su socavamiento por el agua.

4. El diseño de los diques permite retener el agua a la vez que la mantiene controlada dentro del cauce de la cárcava. Para ello el aliviadero ha de ser capaz de evacuar el caudal de agua rebosando por el centro del dique de retención sin que se alcancen sus laterales, evitando así la erosión de las paredes de la cárcava; este aliviadero es de sección ovoide siguiendo la forma del dique y la aplicación de presión con el cazo de la retroexcavadora (Figura 5).



Figura 5. Esquema del diseño del ensayo. Sección transversal del gavión. Elaboración propia a partir de GRAY & LEISER (1989)

Para la ejecución de los diques se han empleado bolos de cantos rodados de desecho en cantera con diámetros aproximados superiores a 20 cm, con el fin de evitar que el agua los arrastre. En general, para la elaboración de diques con piedras no debe haber trozos de material menores de 10 cm de diámetro, y el porcentaje de piedras menores de 14 cm de diámetro no debe superar el 25% del total del peso de rocas empleadas.

Previo a la colocación del gavión se abrió una zanja de unos 150 cm de anchura y 30 cm de profundidad a lo largo del punto de intervención, incluyendo los taludes. En ella se extendió la malla, quedando una cuarta parte del gavión enterrado (Figura 6). Los bolos se colocaron encerrándolos en una malla de alambre para gaviones construida in situ (Figura 7).

Su usaron dos secciones de malla de 3x4 m cosidas con alambre por un lateral antes de aplicar el bolo; una vez extendido y perfilado el bolo con la excavadora, se cerró la malla y se cosió con alambre, formando un gavión flexible de entre 0,6-0,8 m de altura máxima que, por su peso (aprox. 5 t) es estable frente al empuje del agua que pueda circular por la cárcava. Al pie del aliviadero se extendió bolo y se cubrió con alambre anclado al suelo, para formar una zona de amortiguación de la caída de agua que evite socavar el pie del dique.

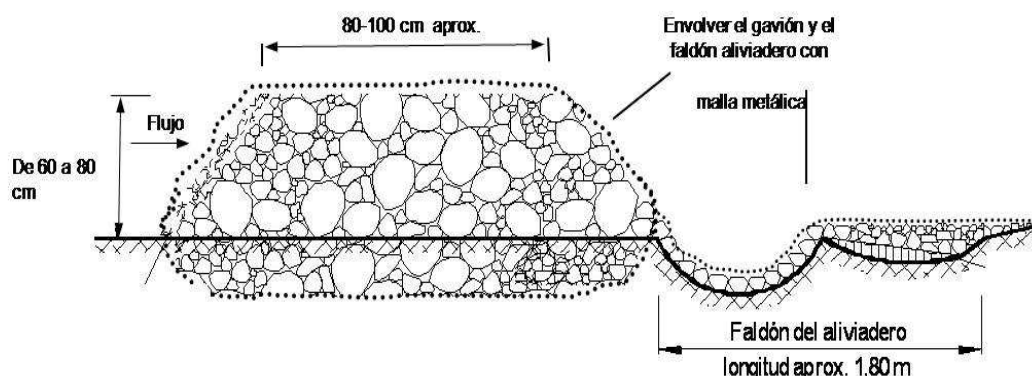


Figura 6. Esquema del diseño del ensayo. Sección longitudinal del gavión y del aliviadero. Elaboración propia a partir de GRAY & LEISER (1989)



Figura 7. Construcción in situ de un gavión semiflexible de malla y bolo. Fase de cosido

La ejecución de los diques de retención se realizó por cuatro operarios no cualificados para obras de construcción, con objeto de valorar los rendimientos de mano de obra no especializada, situación que puede ser representativa de las condiciones de trabajo en fincas productivas que realicen estas actuaciones con medios propios.

Por su parte, la revegetación de la cárcava se realizó en el mes de febrero de 2012. Se llevó a cabo con planta en cepellón procedente de bandeja forestal de especies arbustivas autóctonas de gran amplitud ecológica, alta frugalidad y contrastada rusticidad, tales como taraje (*Tamarix gallica* L.), adelfa (*Nerium oleander* L.), rosál silvestre (*Rosa canina* L.), lentisco (*Pistacia lentiscus* L.) y gayomba (*Spartium junceum* L.), utilizando en menor medida especies arbóreas como el almez (*Celtis australis* L.) para implantarlos como árboles testigo en puntos que no perjudiquen (sombreo) en un futuro al cultivo.

Esta actuación tiene como finalidad el control de la erosión en la cabecera de la cárcava así como en sus taludes, con el incremento de la retención de suelo por el desarrollo radicular de la vegetación. A la vez, la revegetación permite frenar también la erosión biológica de este tipo de explotaciones, potenciando la biodiversidad y mejorando sustancialmente el paisaje que, en este tipo de territorios, han sufrido fuertes procesos de simplificación que los han conducido a los actuales niveles de fragilidad (Junta de Andalucía, 2012).

Para el ahoyado se utilizó una ahoyadora mecánica manual manejada por un solo operario. Las líneas de plantación se establecieron en las zonas aledañas a la cárcava sin invadir el cauce ni la línea de olivos circundantes. Su distribución se realizó al tresbolillo pero de forma aleatoria aprovechando los espacios generados en los taludes y bases laterales de los gaviones (Figura 8).



Figura 8. Labores de plantación y colocación de protectores en los márgenes del tramo corregido.

Toda la plantación se protegió individualmente de los potenciales daños que pudieran provocar los abundantes conejos y liebres existentes en la finca mediante tubos protectores de 60 cm. Los tubos se fijaron al suelo con la ayuda de un tutor de caña de bambú de 1,50 m, por el interior y sujetándolo a la caña con bridas. La colocación de estos elementos, además de su funcionalidad, hacen muy visible la localización de la plantas para las futuras labores de conservación y seguimiento.

Las labores de mantenimiento de la plantación consistieron en la instalación de riego por goteo conectado a la red de riego del olivar que permitió garantizar el riego de conservación de la plantación los meses estivales al unísono del riego del olivar. Además se aplicaron dos rozas continuas (una en mayo de 2012 y otra en octubre de 2012) con motodesbrozadora manual para eliminar la competencia de las herbáceas anuales y perennes, dejando los restos extendidos por la superficie intervenida.

4. Resultados

En la Tabla 2, se muestra el detalle del presupuesto de las actuaciones incluyendo los requerimientos materiales, de tiempo y coste:

243
244

Tabla 2. Resumen de costes de ejecución del ensayo de control de cárcava: revegetación y diques de retención. IVA no incluido

Capítulo 1 Obra civil

Partida 1.1.	Aplicación de escollera sobre deslizamientos en cauce de roca machacada, tamaño de 60 a 80 cm, con una distancia de transporte de la piedra mayor de 3 km, colocada a máquina sobre desplome de orilla de cauce.			
Ud	Concepto	Cantidad	Precio €	Importe €
Hr	Retroexcavadora giratoria de cadenas de 21 t (retro case 210). Incluye maquinista y transporte de góndola	7,0	55,0	385,0
t	Suministro de roca para escollera pizarrosa 600-800 kg. Procedente cantera (>3km)	72,02	16,0	1.152,3
				1.537,3
Partida 1.2.	Gavión formando dique sobre cauce envuelto con malla metálica, colocado en obra, incluso cosido y atirantado con alambre galvanizado. Extendido de bolos aguas abajo de dique. Piedra procedente de cantera a una distancia mayor de 3 km.			
Ud	Concepto	Cantidad	Precio €	Importe €
Hr	Retroexcavadora giratoria de cadenas de 21 tn	4,0	55,0	220,0
t	Suministro de bolos 20 cm	37,8	14,0	528,6
m ²	Malla gavión galvanizada (puesta en obra)	75,0	2,5	187,5
Ud	Rollo alambre galvanizado nº 8	1,0	6,8	6,8
Ud	Rollo alambre en corrugado nº 10	1,0	33,9	33,9
Hr	Peón régimen general	13,9	14,0	194,0
				1.170,9

Capítulo 2 Revegetación

Partida 2.1.	Revegetación zonas aledañas a la cárcava intervenida, incluyendo ahoyado mecánico manual, plantación con azada, colocación de protector y entutorado, instalación de riego de conservación y 2 labores de desbroce para mantenimiento de las plantaciones.			
Ud	Concepto	Cantidad	Precio €	Importe €
Ud	<i>Tamarix gallica</i> (taraje) servido en bandeja forestal	30	0,46	13,8
Ud	<i>Nerium oleander</i> (adelfa) servido en bandeja forestal	35	0,36	12,6
Ud	<i>Pistacia lentiscus</i> (lentisco) servido en bandeja forestal	20	0,36	7,2
Ud	<i>Spartium junceum</i> (gayomba) servido en bandeja forestal	25	0,36	9,0
Ud	<i>Rosa canina</i> (rosal silvestre) servido en bandeja forestal	35	0,50	17,5
Ud	<i>Celtis australis</i> (almez) 1,00-1,25 m de altura	5	3	15,0
Ud	Protector contra roedores 60 cm/h	150	0,38	57,0
Ud	Tutor bambú 1,10 m 20/22 mm	150	0,20	30,0
Ud	Material instalación riego goteo (goma 16 mm, micro tubo , conexiones, goteros 4l/h)	1	85	85,0
Hr	Labores plantación	10	14	140,0
Hr	Instalación riego por goteo	6	14	84,0
Hr	Dos rozas continuas con desbrozadora manual	6	14	84,0
Ud	Medios auxiliares	1	150	150,0
				750,1

245
246
247
248
249
250

El tiempo de realización de la obra fue de dos días trabajo. Durante el primer día se colocó la escollera mediante un uso intensivo de la retroexcavadora (un total de 7 h) y durante el segundo día, se construyeron los cinco diques de retención. En cada uno de los diques de media se invirtieron aproximadamente 6 m³ de bolos (incluyendo tanto el muro del dique como el cuenco de disipación), así como 50 minutos de una cuadrilla de 4 personas. El coste

medio de cada dique fue de 234 €. El coste unitario de restauración por m de cárcava fue de 22,5 €/m en total y de 9,8 €/m, considerando únicamente los diques.

Para la revegetación de la cárcava se empleó una jornada de trabajo de 5 horas dos operarios para la fase de plantación, otras 3 horas dos operarios para la instalación del riego por goteo y 3 horas respectivamente para cada una de las labores de desbroce de conservación. El coste total de la revegetación de la cárcava para un tramo aproximado de 100 m, incluyendo las labores de cuidados posplantación, han ascendido a un total de 750 €.

La última visita a la obra se realizó en noviembre de 2012. Desde la ejecución de la obra (junio de 2011) hasta la última visita transcurrieron, por lo tanto, 17 meses. El total de lluvia acumulada en el período de estudio fue de 781,9 mm. Si bien, en visitas previas se comprobó que existía sedimentación, fue en el otoño de 2012, en el que en menos de dos meses las lluvias ascendieron a 300 mm (según los datos de la Red de Información Agroclimática de Andalucía), cuando la colmatación avanzó significativamente.

En noviembre de 2012 se pudo constatar que los tres primeros diques comenzando desde aguas arriba se encontraban colmatados, mientras que en el cuarto y quinto la colmatación era parcial, aproximadamente hasta el 60% de la altura del vertedero. Por lo tanto, la cuantía de las precipitaciones es un factor crítico en el tiempo de colmatación de las obras de retención, como ha sido señalado en otros estudios (BOIX-FAYOS et al., 2007). El período posterior a la ejecución a la obra fue significativamente seco, por lo que la sedimentación avanzó lentamente, si bien el primer período de lluvias continuadas fue prácticamente suficiente para completar el proceso.

No se observaron síntomas de socavación aguas abajo de los diques ni de elevación de la lámina de agua por encima del vertedero, por lo que las obras funcionaron correctamente para los eventos de lluvia que tuvieron lugar en el período de estudio (Figura 9).



Figura 9. Vista de uno de los diques del tramo corregido. Se observa aguas arriba la cuña de sedimentación hasta el vertedero, que tapa el tramo inferior de la escollera del talud. Noviembre de 2012.

El porcentaje de marras de la plantación transcurrido un año de la actuación ha sido muy reducido, estando por debajo del 5%. Esto se ha debido principalmente por la instalación

de riego por goteo para la conservación de la plantación y el control de las herbáceas competidoras, por lo que no ha sido necesario realizar una reposición de marras.

5. Discusión

El ensayo demostró que es posible llevar a cabo actuaciones de corrección de cárcavas en zonas agrícolas con mano de obra no especializada a coste y rendimientos razonables. Los costes obtenidos demuestran que es viable controlar cárcavas de varios centenares de metros con presupuestos asequibles para muchos propietarios. El coste de la obra puede reducirse en más del 50% si no es necesario actuar con escollera para la protección de taludes. Esto permitiría utilizar maquinaria de menor potencia y, por consiguiente, menor coste para la ejecución de los diques, siempre que el brazo de la máquina se adecuara a la profundidad de la cárcava.

Asimismo, se considera que si se utilizara mano de obra, si no especializada, con un cierto grado de entrenamiento, los rendimientos obtenidos pueden ser mejorados. Con las productividades de nuestro estudio, se podrían ejecutar tramos de hasta 200 m por día de trabajo en cárcavas de similares secciones. Teniendo en cuenta que la mayoría de las cárcavas de la Campiña presentan longitudes entre los 100 y 1.000 m (CASTILLO, 2012), el control de una cárcava sería posible en tan sólo unos días de trabajo.

Si se considera una densidad de drenaje de 4 km/km^2 (equivalentes a 40 m/ha) como un valor representativo de las cárcavas de la Campiña y que se actuara en la longitud total de la cárcava, el coste de la restauración se podría estimar en 400 €/ha. Teniendo en cuenta que los costes estimados de la erosión para el propietario en otros estudios (PIMENTEL et al., 1995) se encuentran en el entorno de los 40 €/ha, el período de retorno de la inversión (considerando sólo las actuaciones con diques) sería del orden de 10 años, valor por debajo de la vida útil de diseño de las estructuras que suele ser de 25 años. Estos resultados apuntan a que estas medidas de bajo costes y requerimientos técnicos podrían ser rentables en un sentido puramente económico.

En cualquier caso, estos resultados sólo son aplicables a cárcavas de similares características (pendiente del 2,5%, anchuras hasta 4 m, profundidad hasta 2 m, caudales en torno a $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$). En cárcavas de mayor sección, con mayores caudales (con mayores alturas de dique) o en tramos de pendiente superior, los costes pueden ser significativamente superiores.

El seguimiento de las actuaciones ha permitido constatar que el tramo se encuentra estabilizado, sin signos de socavaciones o fallos de taludes, al contrario de lo que se ha observado en tramos aguas abajo de la zona de actuación, en los que la cárcava ha seguido creciendo tanto por incisión como por ensanchamiento como consecuencia de la inestabilidad de los márgenes. La evolución de la actuación es un refrendo provisional a los criterios de diseño aplicados, si bien futuros eventos de lluvia de mayor cuantía han de servir de prueba más exigente de la misma. Asimismo, el reducido tiempo de llenado de las estructuras es un resultado prometedor que apunta a que la corrección longitudinal de las pendientes puede ser un proceso relativamente rápido, lo que aseguraría la pronta eficacia de las medidas.

Se ha observado la potencialidad de recuperación del paisaje de Campiña utilizando las cárcavas revegetadas de forma permanente. Estos espacios intersticiales en las fincas son

elementos clave en futuras líneas de planificación para la diversificación del paisaje agrario, en especial en paisajes de uso intensivo donde los procesos de homogeneización y simplificación derivan en la desconexión ecológica territorial. Un dato ilustrativo de esta realidad es el del Inventario de elementos del paisaje en la Campiña de Córdoba (MORA et al., 2009), que recoge que en una superficie de 82.000 ha existen 770 árboles aislados, una media de 0,0094 árboles/ha.

6. Conclusiones

El ensayo presentado en este trabajo constituye un ejemplo de actuación para el control de cárcavas en zonas agrícolas basado en la combinación y simplicidad de técnicas y materiales constructivos y en la aplicación de criterios optimizadores de la disipación de la energía. Los rendimientos de trabajo obtenidos, a pesar de haberse realizado con mano de obra no entrenada, han sido satisfactorios y demuestran que se puede llegar a cabo correcciones de cárcavas completas en un periodo reducido de días. El coste unitario de la actuación se encontró en el entorno de 10 €/m de cárcava corregido y cuando este dato es extrapolado a la superficie de la finca, el presupuesto de la inversión es del mismo orden que los costes de no actuación, por lo que se encuentra dentro de la zona de rentabilidad económica.

La plantación realizada mostró un comportamiento satisfactorio con una elevada tasa de supervivencia y adecuado desarrollo, lo que se vio favorecido por la estabilidad adicional proporcionada por las estructuras de retención, que alcanzaron un elevado nivel de colmatación en menos de dos años de funcionamiento. En conjunto, durante el período de estudio, el tramo corregido ha alcanzado un nivel de gran estabilidad, sin la aparición de signos de degradación apreciables, aspecto que sí ha sido observado en tramos contiguos al mismo en los que no se actuó, si bien se ha de continuar el seguimiento de la actuación, en especial su comportamiento ante precipitaciones de mayor magnitud.

La metodología aplicada en este estudio ofrece una alternativa de bajo presupuesto al alcance de la capacidad de los productores que ayuda a paliar las graves pérdidas de suelo, potenciando la multifuncionalidad de los enclaves forestales (control de erosión, mejora de la biodiversidad y conectividad del paisaje) en las explotaciones agrícolas de uso intensivo.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Programa de Diversificación del Paisaje Rural de la Campiña de Córdoba promovido por el Departamento de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Córdoba (con la participación de la Fundación Biodiversidad y la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía) y los proyectos AGL2009-1236-C03-01 (Ministerio de Ciencia e Innovación) y la red RESEL (Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino) desarrollados por el Instituto de Agricultura Sostenible del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

8. Bibliografía

BOIX-FAYOS, C., BARBERÁ, G.G., LÓPEZ-BERMÚDEZ, F., CASTILLO, V.M. 2007. Effects of check-dams, reforestation and land use changes on river channel morphology: study case of the Rogativa catchment (Murcia, Spain). *Geomorphology* 91:103-123.

CASTILLO, C. 2012. Metodología de medida de la erosión por cárcavas y modelado de su control mediante diques de retención. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.

JUNTA DE ANDALUCÍA, CONSEJERÍA DE PRESIDENCIA. 2012. Estrategia Andaluza del Paisaje, BOJA nº 62, 29 de marzo de 2012.

GÓMEZ, J.A., E.V. TAGUAS, T. VANWALLEGHEM, J.V. GIRÁLDEZ, F. SÁNCHEZ, J.L. AYUSO, A. LORA, J. MORA. 2011. Criterios técnicos para el control de cárcavas. Diseño de muros de retención y revegetación de paisajes agrarios. Manual del operador en inversiones no productivas. Junta de Andalucía. Servicio de Publicaciones y Divulgación. Consejería de Agricultura y Pesca. 55 p. Sevilla.

GRAY, D.H., LEISER, A.T. 1989. Biotechnical Slope Protection & Control. Robert E. Krieger Publishing. Florida.

MORA, J., MUÑOZ, F.J., LORA, A., ROJO, M. 2007. Bases para la promoción y diseño de un modelo de diversificación del paisaje rural de la campiña del término municipal de Córdoba. Actas del I Congreso Europeo sobre Agricultura y Medio Ambiente, Sevilla.

PIMENTEL, D., HARVEY, C., RESOSUDARMO, P., SINCLAIR, K., KURZ, D., MCNAIR, M., CRIST, S., SHPRITZ, L., FITTON, L., SAFFOURI, R., BLAIR, R. 1995. Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. Science, 267.

TAGUAS, E.V., VANWALLEGHEM, T., PÉREZ-ALCÁNTARA, R., GÓMEZ, J.A.. 2010. EFFECT OF LARGE RAINFALL EVENTS IN RUNOFF AND SOIL LOSSES IN TWO SMALL EXPERIMENTAL AGRICULTURAL CATCHMENTS IN SOUTHERN SPAIN. Abstracts of the Annual Meeting of the European Geosciences Union. Viena.